

温度梯度下水泥混凝土路面接缝张开量数值分析

李晶晶^{1,2}, 李朋飞^{1,3}, 张 攀¹

(1. 长安大学 公路学院, 陕西 西安 710064; 2. 陕西交通职业技术学院 公路工程系, 陕西 西安 710018;
3. 陕西省公路勘察设计院, 陕西 西安 710068)

摘 要: 为了分析水泥混凝土路面在不同结构组合和材料参数下的接缝张开量变化情况, 通过三维有限元数值方法, 建立接缝模型, 量化分析了各因素对接缝张开量的影响, 表明温度梯度、基层模量、面板长度以及面板厚度对接缝张开量的影响显著, 接缝张开量与温度梯度呈对数关系, 与基层模量呈乘幂关系, 与面板长度和面板厚度呈指数关系。基于前述分析, 回归出综合考虑4因素的接缝张开量模型公式, 并利用实测数据对其进行修正, 从而为水泥混凝土路面接缝设计和填缝料选用提供参考依据。

关键词: 道路工程; 水泥混凝土路面; 接缝张开量; 温度梯度; 三维有限元

中图分类号: U416.216

文献标志码: A

doi:10.3969/j.issn.1671-6833.2012.04.007

0 引言

水泥混凝土路面设置接缝的目的是为了消除温度内应力和温度翘曲应力, 保证路面外观整齐和提高使用性能, 但是接缝的存在破坏了路面结构的整体性, 在车辆荷载与环境的共同作用下, 接缝处路面常发生破碎、唧泥、错台、脱空等病害, 致使接缝成为水泥混凝土路面的薄弱环节, 制约了水泥混凝土路面的进一步发展。究其原因是不考虑不同地区、不同温差条件下接缝张开量不同以及填缝料伸缩量不能与接缝张开量相匹配的问题。目前, 国内外学者对水泥混凝土路面接缝传荷能力进行了大量研究^[1-2], 同时对机场水泥混凝土路面大板接缝位移进行了研究^[3-5], 但针对水泥混凝土路面接缝张开量和接缝宽度一直未开展过系统研究。因此, 建立三维有限元接缝模型, 分析各因素对接缝张开量的影响, 建立水泥混凝土路面接缝张开量公式, 为合理进行水泥混凝土路面填缝料选用提供理论依据。

1 计算模型与参数

1.1 计算模型与参数

为了简化分析, 定路面结构由水泥混凝土面板、基层和地基组成, 三者均用八节点实体单元来模拟。对有限元模型作如下假定: (1) 各结构层为

均匀、连续、各向同性的弹性体; (2) 各层层间竖向、水平位移均连续; (3) 基础底面固定, 四周法向约束; (4) 基层的四周法向约束, 面板为四边自由; (5) 混凝土线膨胀系数不随温度变化, 为材料常数^[6-7]。水泥混凝土路面接缝计算模型见图1, 路面结构几何尺寸及材料计算参数见表1。

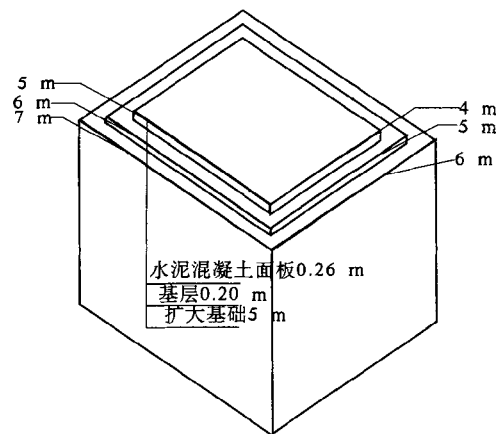


图1 水泥混凝土路面接缝计算模型

Fig. 1 Joint calculation model of cement concrete pavement

1.2 温度与温度场

水泥混凝土路面受到正负温度梯度的作用产生“凸形”或“凹形”翘曲, 引起接缝张开量的增加或减小。由于温度的作用过程比较缓慢, 温度应力

收稿日期: 2012-01-03; 修订日期: 2012-04-02

基金项目: 国家西部交通建设科技资助项目(2007 318 223 01-6)

作者简介: 李晶晶(1985-)女, 湖北随州人, 陕西交通职业技术学院助教, 硕士, 主要从事路面结构研究。

表1 路面结构几何尺寸及计算参数

Tab. 1 Basic model parameters

路面结构层	几何尺寸 /m ($x \times y \times z$)	正交各向同性材料			
		弹性模量 E/MPa	泊松比 ν	导热系数/ $(\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1})$	线膨胀系数/ $(^\circ\text{C}^{-1})$
水泥混凝土面层	$5 \times 0.26 \times 4$	31 000	0.15	1.7	1.0×10^{-5}
基层	$6 \times 0.20 \times 5$	2 000	0.20	1.4	0.8×10^{-5}
基础	$7 \times 5 \times 6$	80	0.35	1.0	0.5×10^{-5}

产生需要经历较长的时间,混凝土和地基模量应考虑其徐变的影响.参考JTGD 40—2002《公路水泥混凝土路面设计规范》的做法,按照美国混凝土学会(ACI)的徐变公式和推荐参数,计算温度应力时基层徐变模量取弹性模量的0.7倍,面层混凝土徐变模量为其弹性模量的0.85倍^[8-10].结合水泥混凝土路面温度变化的调查资料,笔者在进行路面结构温度场分析时,取20℃作为参考温度,温度梯度为75℃/m,各结构层温度在此温度基础上进行升高或降低.

2 水泥混凝土路面接缝张开量变化规律

2.1 自重作用

为分析面板自重约束对接缝张开量的影响,

在面板上施加了均布自重荷载(容重为2 400 kg/m³).计算结果如图2和图3所示.结果表明:(1)在温度梯度和基层模量相同的条件下,接缝端部张开量大于接缝中部张开量,且横缝端部大于纵缝端部张开量,因为面板产生翘曲变形时呈球形,板角比板中的相对长度要长,所以板角接缝张开量大于板中接缝张开量;(2)在正温度梯度作用下,考虑自重作用时面板接缝张开量比不计自重时要小,在负温度梯度作用下,自重使接缝张开量增大.因此,在分析其它因素对接缝张开量的影响时,为了接近路面实际工作状况,均考虑自重作用,且仅需查看纵缝端部的张开量即可.

2.2 温度梯度

温度梯度是产生温度翘曲应力的重要参数,

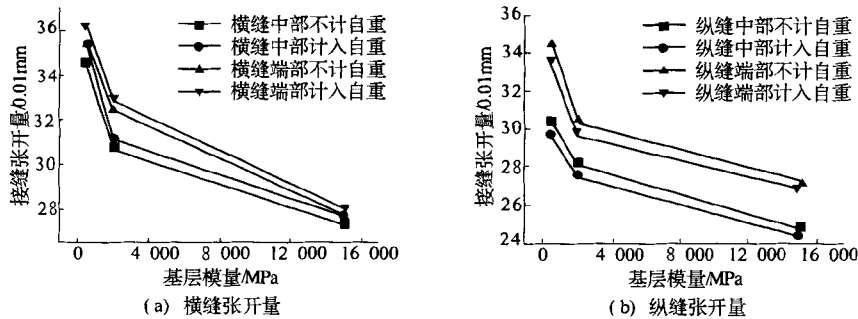


图2 75℃/m 横缝与纵缝张开量随基层模量的变化

Fig. 2 Transverse and longitudinal JOD changed by base modulus under plus 75 °C/m

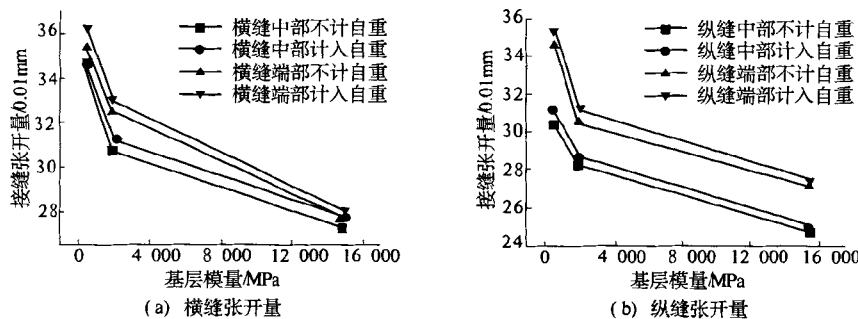


图3 -75℃/m 横缝与纵缝张开量随基层模量的变化

Fig. 3 Transverse and longitudinal JOD changed by base modulus under minus 75 °C/m

也是水泥混凝土路面结构设计的重要指标.在基本模型的基础上,改变温度梯度,计算结果见图

4.分析可知:(1)基层模量一定时,正负温度梯度下接缝张开量均随着温度梯度的增大呈曲线增

长,但幅度逐渐放缓;(2)基层模量和温度梯度一定时,正温度梯度的接缝张开量要比负温度梯度的小.为进一步分析温度梯度与接缝张开量的关系,进行两者的拟合,表明正负温度梯度与接缝张

开量呈对数关系,结合道路实际温度情况考虑,下面仅分析 75 ℃/m 下基层模量、基层厚度、面板长度、面层厚度以及层间接触状况对接缝张开量的影响.

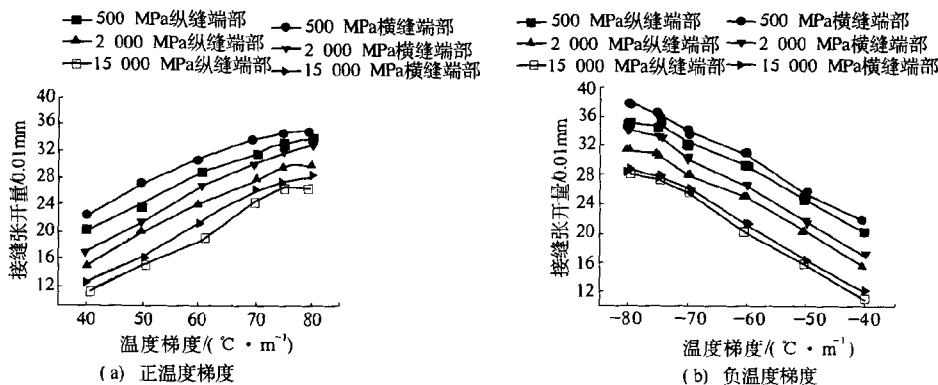


图4 接缝张开量的变化

Fig. 4 JOD changed by temperature gradient

2.3 基层模量

温度梯度一定时,随着基层模量的增大,接缝张开量呈凹形减小.那是因为面板的温度应力随着基层模量的增大而增大,相应接缝端部受到的约束也越大,接缝张开量则减小.进一步分析基层模量与接缝张开量的关系,两者呈乘幂关系,拟合精度很高,理论计算值与拟合值间误差仅为 0.10% ~ 1.09%.

2.4 面板长度

接缝张开量随着面板长度的增加而增幅放缓.板长 6 m 是一个临界长度,当板长小于 6 m 时,接缝张开量随着面板长度的增大几乎呈线性增长;当板长大于 6 m 时,接缝张开量随着面板长度的增大而增长缓慢.进行面板长度与接缝张开量的关系拟合,可知两者呈指数关系,拟合精度高达 99%.

2.5 面板厚度

随着面层厚度的增加,接缝张开量减小的速度逐渐放缓.进一步分析面板厚度与接缝张开量的拟合方程,可知两者呈指数关系.由此可见,为了减少接缝类病害,可以通过适当增加面板厚度来实现.

3 建立接缝张开量公式

基于有限元分析结果,可知温度梯度、基层模量、面板长度以及面板厚度对接缝张开量的影响显著,且温度梯度对接缝张开量的影响最大,面板长度和基层模量的影响相当,面板厚度最小.根据

前述计算,回归出综合考虑温度梯度、基层模量、面板长度以及面板厚度与接缝张开量关系方程.

分析拟合公式可知拟合精度很高,对纵缝端部张开量而言,所有误差率均在 10% 以下;对横缝端部张开量而言,只有 3 个点的误差率超过 5%,其他值均在 5% 以下.

为了验证数值计算结果,在某省分别选取了贫混凝土、水泥稳定碎石和级配碎石 3 种基层进行接缝张开量的观测,其测点于面板的板角、1/4 板和板中布置,利用观测数值分析结果可知:对于 3 种基层的水泥混凝土路面而言,接缝的张开量均随着温差的增大而增大;在温度梯度作用下,纵缝端部张开量最大,其次是 1/4 板处,最小是纵缝中部.因为在温度梯度作用下,面板翘曲后成为球面形状,对于板中心而言,纵缝端部的相对长度大于纵缝中部.并利用观测结果对回归公式进行修正,最终得到水泥混凝土路面接缝张开量的应用公式.

$$v'_{y1} = 3.171 1E_1^{-0.0086} \times \left(\frac{0.0518 \ln(0.0187 T_g + 0.3199L)}{H} \right) + 0.3199 \exp(-0.0864L + 1.9134H) - 1.3525$$

$$u'_{x1} = 0.1950 E_1^{-0.0580} \times \left(\frac{1.9531 \ln(0.0075 T_g + 0.2636L)}{H} \right) + 2.3114 \exp(-0.5056L + 0.4741H) - 0.2755$$

式中: v'_{y1} 为纵缝端部的实际张开量, mm; u'_{x1} 为横缝端部的实际张开量, mm; T_g 为路面温度梯度的绝对值, °C/m; E_1 为基层模量, MPa; L 为面板长度, m; H 为面板厚度, m.

4 结论

(1) 建立了水泥混凝土路面三维接缝模型,对比分析考虑自重与不计自重接缝张开量的计算结果,表明面板自重约束作用对接缝张开量有一定的影响,考虑自重作用比较接近路面现实工作状态。

(2) 系统分析了温度梯度、基层模量、面板长度和面板厚度对接缝张开量的影响,结果表明:接缝张开量与温度梯度呈对数关系,与基层模量呈乘幂关系,与面板长度和面板厚度均呈指数关系,在此基础上,回归出综合考虑四变量的接缝张开量计算公式,并借助现场实测数据对理论模型进行修正,得到水泥混凝土路面板边接缝张开量的应用公式。

参考文献:

- [1] 刘文,凌建明,赵鸿铎.考虑接缝影响的机场水泥混凝土道面结构响应[J].公路交通科技,2007,24(12):16-20.
- [2] 武建民,伍石生.用三维有限元方法评价带接缝的旧水泥混凝土路面罩面[J].长安大学学报:自然科学版,2002,22(1):10-13.
- [3] 李国强,黄卫,邓学钧.水泥路面位移研究[J].重庆交通学院学报,1996,15(4):48-52.
- [4] 翁兴中,谭麦秋,孔大庆,等.机场水泥混凝土大板接缝设计[J].空军工程大学学报:自然科学版,2002,3(6):4-6.
- [5] 尚云龙.寒区混凝土路面接缝和裂缝变形量测定[J].低温建筑技术,2007(4):142-143.
- [6] 付其林,陈拴发,彭翀.贫混凝土基层沥青路面温度-荷载耦合应力分析[J].郑州大学学报:工学版,2009,30(3):82-86.
- [7] 谈至明,姚祖康,刘伯莹.水泥混凝土路面的温度应力分析[J].公路,2002,8(8):19-23.
- [8] 中华人民共和国交通部.JTG D40—2002,公路水泥混凝土路面设计规范[S].北京:人民交通出版社,2002,12.
- [9] THOMLISON J. Temperature Variations and consequent stresses produced by daily and seasonal temperature cycles in concrete slabs[J]. Concrete and Construction Engineering, 1940,35(3):90-95.
- [10] 韩子东.道路结构温度场研究[D].西安:长安大学公路学院,2001.

Numerical Analysis of Joint Opening Displacement for Cement Concrete Pavement under Temperature Gradient

LI Jing-jing^{1,2}, LI Peng-fei^{1,3}, ZHANG Qing¹

(1. Highway College, Chang'an University, Xi'an 710064, China; 2. Department of Highway Engineering, Shaanxi College of Communication and Technology, Xi'an 710018, China; 3. Shaanxi Provincial Highway Survey and Design Institute, Xi'an 710068, China)

Abstract: In order to analyze the changes of joint opening displacement (JOD) of cement concrete pavement under different road structures and material parameters, the joint model was established by using a 3D finite element method. Various factors of JOD were quantitatively analyzed. The results show that JOD is significantly effected by temperature gradient, base modulus, slab length and slab thickness, and the relationship between JOD and temperature gradient is the logarithmic, the base modulus is the power, and both the slab length and thickness are the exponential. Based on the above analysis, the formulae of joint changes have been set up with the consideration of four main factors, the theoretical analysis is verified by using the measured data, and the results provide the potential for the joint design and selecting the joint filler.

Key words: road engineering; cement concrete pavement; joint opening displacement (JOD); temperature gradient; 3D finite element